

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-278899

(P2000-278899A)

(43) 公開日 平成12年10月6日 (2000.10.6)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-コ-ト <sup>*</sup> (参考)
H 0 2 K 1/27	5 0 1	H 0 2 K 1/27	5 0 1 K 5 H 6 2 2
			5 0 1 A
			5 0 1 M

審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-81731

(22) 出願日 平成11年3月25日 (1999.3.25)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 野田 伸一

三重県三重郡朝日町大字繩生2121番地 株式会社東芝三重工場内

(72) 発明者 霜村 英二

三重県三重郡朝日町大字繩生2121番地 株式会社東芝三重工場内

(74) 代理人 100071135

弁理士 佐藤 強

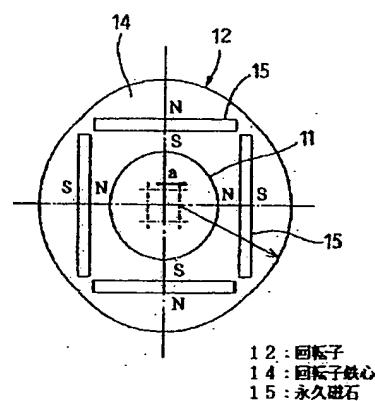
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機の永久磁石付き回転子

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構造で電磁力の  $n$  次高調波成分による磁気騒音を低減できるようにする。

【解決手段】 回転子鉄心 14 は、磁極の外周半径  $r$  と、その外周半径  $r$  の中心と回転子 12 の中心とのずれ量  $a$  との比  $r/a$  が  $-0.0097n^3 + 0.426n^2 - 6.278n + 36$  を満足するように外周面が湾曲形成されている。但し、 $n$  は回転子鉄心 14 と固定子鉄心 16 との間の空隙で発生する電磁力のうち低減目標とする  $n$  次高調波成分である。このような構成により、鉄心間空隙に発生する電磁力のうち騒音源となっている高調波成分による騒音を低減することが分かったので、斯様な形状に磁極を形成することにより、回転電機から発生する騒音を効果的に低減することができる。



12 : 回転子  
14 : 回転子鉄心  
15 : 永久磁石

【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転子鉄心に複数の磁極を形成するように板状の永久磁石を設けた回転電機の永久磁石付き回転子において、

前記回転子鉄心の外周は、磁極の外周半径 $r$ と、この外周半径 $r$ の回転子中心からのズレ量 $a$ との比 $r/a$ が次式で表される湾曲形状に形成されていることを特徴とする回転電機の永久磁石付き回転子。

$$r/a = -0.0097n^3 + 0.426n^2 - 6.278n + 36$$

但し、 $n$ は回転子鉄心と固定子鉄心との間の鉄心間空隙で発生する電磁力のうち騒音低減目標とする $n$ 次高調波成分である。

【請求項2】 比 $r/a$ の許容最大ずれの比率は $\pm 1.0\%$ 以内であることを特徴とする請求項1記載の回転電機の永久磁石付き回転子。

【請求項3】 騒音低減目標とする $n$ 次高調波成分は、 $2 \leq n \leq 16$ の偶数であることを特徴とする請求項1または2記載の回転電機の永久磁石付き回転子。

【請求項4】 永久磁石は、磁極の外周半径 $r$ と回転子鉄心の中心からの距離 $b$ との比 $r/b$ が1.2から1.4までの位置に設けられていることを特徴とする請求項1乃至3の何れかに記載の回転電機の永久磁石付き回転子。

【請求項5】 永久磁石間には、これらの間に磁束が通じることを阻止する補助永久磁石が備えられていることを特徴とする請求項1乃至4の何れかに記載の回転電機の永久磁石付き回転子。

【請求項6】 永久磁石は、長尺方向が磁極中心の接線方向に対して $2 \sim 4$ 度傾斜していることを特徴とする請求項1乃至5の何れかに記載の回転電機の永久磁石付き回転子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、円筒状の回転子鉄心に複数の磁極を形成するように板状の永久磁石を設けた回転電機の永久磁石付き回転子に関する。

【0002】

【発明が解決しようとする課題】図10は回転電機を示している。この図10において、回転軸1に装着された回転子2は固定子3（固定子巻線は省略）の内周に回転可能に配置されている。この回転子2は、回転子鉄心4の各磁極の形成部位に板状の永久磁石5を挿入して構成されており、各永久磁石5は隣同士でS極とN極とが交互となるように回転子鉄心4の半径方向に着磁されている。この場合、回転子鉄心4の外周と固定子鉄心6の内周との鉄心間空隙は全体にわたって均一となっている。

【0003】このように従来の構成では、内周が円形である固定子鉄心6に対して、外周が円形である回転子鉄心4を組合わせているため、鉄心間空隙の間隔は全周に

わたって一定となり、周上の何れの部位であっても磁気抵抗の差は小さい。このため、鉄心間空隙の磁束密度分布は永久磁石5の配置に依存されることになり、矩形波波形に近似する。このため、鉄心間空隙の磁束密度が大きく変化することになり、トルク脈動、磁気振動及び磁気騒音を発生するという欠点を有する。

【0004】この欠点を除去するための手段として、特公昭63-14644号公報のものでは、図11に示すように回転子鉄心7と固定子鉄心8との間の鉄心間空隙を大きく設けると共に、回転子鉄心7の磁極の外周を弓型に湾曲形成することを提案している。これは、磁極の外周を弓形に湾曲形成することにより、鉄心間空隙に形成される磁束密度分布を矩形波波形から正弦波波形に近似させ、トルク脈動、磁気振動及び磁気騒音を低減することを狙いとしている。

【0005】ところが、このように磁極の外周を湾曲形状に形成するにしても、実際には、必ずしもこれらの問題を解決できていないのが実情である。そこで、騒音の発生要因を究明するために、回転子鉄心7の磁極の外周湾曲に対する電磁力と騒音との関係を究明した結果、問題となる騒音は、電磁力の $n$ 次高調波成分の周波数と構造系の固有振動数との共振現象が原因で大きくなることが確認できた。その内容を具体的に説明すると、騒音の発生メカニズムは、固定子巻線電流を流すことにより磁束が生じ、その磁束から電磁力が鉄心間空隙に作用し、この電磁力により構造系の固定子鉄心が振動して騒音放射となる。この場合、電磁力としては運転周波数に応じて発生するものに加えて $n$ 次高調波成分によるものも発生することから、その $n$ 次高調波成分による電磁力と固定子鉄心の共振現象に着目する必要がある。

【0006】要するに、回転子の回転に寄与する電磁力の成分は、回転子の円周方向であるのに対し、振動を引起す電磁力は主に回転子の半径方向に作用するので、鉄心間空隙の磁束密度分布を正弦波波形とすることだけに着目していても騒音は低減できないことが分った。特に、鉄心間空隙の磁束密度分布は回転子を駆動するためのトルクを発生するもので円周方向に作用する電磁力が主であるものの、騒音の原因は、回転子の半径方向に作用する電磁力が主であることから、電磁力の高調波成分に着目する必要がある。

【0007】ここで、電磁力の $n$ 次高調波成分による騒音発生に関する具体的事例を説明する。図12は、インバータ運転の運転周波数 $f = 0 \sim 240 \text{ Hz}$ を5分間でスイープ運転させ、騒音レベルであるオーバー・オール値を記録したものである。この図12において、横軸に運転周波数 $f$ を示し、縦軸に騒音レベルを示している。この図12から分るように、 $f = 180 \text{ Hz}$ 付近で大きな騒音ピークが現れている点が問題である。

【0008】一方、図13は運転周波数 $f = 180 \text{ Hz}$ に固定し、騒音の周波数分析を行った結果を示してい

る。この結果から、騒音の顕著周波数は1440Hzであることが確認できた。この顕著周波数は運転周波数 $f=180\text{Hz}$ の8倍成分である。また、構造系の固有振動数の測定結果から固定子鉄心が楕円形に変形する構造系の固有振動数が $f=1440\text{Hz}$ に存在することが分った。つまり、大きな騒音ピークの原因は、運転周波数 $f$ の8倍成分と固有振動数とが一致した共振現象であることが分る。

【0009】図14は上述した共振現象の発生を説明するためのものである。この図14は、横軸に運転周波数 $f$ を示し、縦軸に騒音発生周波数を示している。また、図中の横軸の太い実線は構造系の固有振動数を示している。この図14から、運転周波数 $f$ に対して電磁力の $n$ 次高調波成分が発生し、固有振動数 $f_n$ と一致したときに黒丸印で示す騒音が発生している。この場合、騒音の大きさを黒丸印の大きさで示している。この図14から理解できるように、インパタ運転の場合は、運転周波数 $f$ が可変となるため、共振現象は避けることができず、共振点での騒音低減は困難であるものの、騒音を低減する手段としては、(1)固有振動数 $f_n$ を電磁力の高調波成分がない周波数まで離調する。(2)構造系に粘性のある材料を用いて減衰機能をもたせる。(3)共振する周波数の $n$ 次高調波成分の電磁力そのものを低減させるなどが考えられる。

【0010】図15は、上述した騒音発生メカニズムを検証するために、回転電機のサイズ、つまり固有振動数の異なるものを用いて、運転周波数0~240Hzでスイープ運転させ、騒音レベルのオーバーオール値を記録したものである。この機種においては、 $f=120\text{Hz}$ 及び240Hzに大きな騒音ピークが現れている。この $f=240\text{Hz}$ において運転周波数を固定させ、周波数分析を行った結果、図16に示すように4次高調波成分の960Hzのスペクトルが大きいことが分った。これは、図17に示すように構造系の固有振動数 $f_n=960\text{Hz}$ と電磁力の4次高調波成分の960Hzとが一致した共振現象であることが分る。また、同図において運転周波数 $f=120\text{Hz}$ においても8次高調波成分による電磁力と960Hzの固有振動数とが一致して大きな騒音ピークとなっていることが分る。

【0011】以上の結果から分るように、特公昭63-14644号公報で記述されているように鉄心間空隙の磁束密度分布を正弦波波形に近似させるだけでは必ずしも問題は解決されず、それに加えて、共振現象を引起こす電磁力の $n$ 次高調波成分を低減するような回転子鉄心の形状が必要となる。

【0012】本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、その目的は、簡単な構造で電磁力の $n$ 次高調波成分による磁気騒音を低減できるようにした回転電機の永久磁石付き回転子を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、回転子鉄心に複数の磁極を形成するように板状の永久磁石を設けた回転電機の永久磁石付き回転子において、前記回転子鉄心の外周は、磁極の外周半径 $r$ と、この外周半径 $r$ の中心からのズレ量 $a$ との比 $r/a$ が次式で表される湾曲形状に形成されていることを特徴とする回転電機の永久磁石付き回転子。

$$r/a = -0.0097n^3 + 0.426n^2 - 6.278n + 36$$

但し、 $n$ は回転子鉄心と固定子鉄心との間の鉄心間空隙で発生する電磁力のうち騒音低減目標とする $n$ 次高調波成分である(請求項1)。

【0014】本発明者による検証の結果、磁極の外周半径 $r$ と、この外周半径 $r$ の中心からのズレ量 $a$ との比 $r/a$ が $-0.0097n^3 + 0.426n^2 - 6.278n + 36$ という式を満足するように回転子鉄心の外周形状を形成することにより、鉄心間空隙に発生する電磁力のうち騒音源となっている電磁力の高調波成分による騒音を低減することが分ったので、斯様な形状に磁極を形成することにより、回転電機から発生する騒音を効果的に低減することができる。

【0015】上記構成において、比 $r/a$ の許容最大ずれの比率は $\pm 1.0\%$ 以内であるのが望ましい(請求項2)。上記式で求められる比 $r/a$ の許容最大ずれの比率が $\pm 1.0\%$ 以内のときに騒音レベルが最小となり、それ以上となると騒音レベルが増大することが分ったので、このような構成を採用することにより、回転電機の騒音を効果的に低減することができる。

【0016】また、騒音低減目標とする $n$ 次高調波成分は、 $2 \leq n \leq 16$ の偶数である(請求項3)。回転電機の騒音に影響する電磁力の周波数成分は、周波数分析から、 $n=2, 4, 6, 8, 10, 12$ 高調波成分であることが分ったので、このような構成を採用することにより、全体の騒音を効果的に低減することができる。

【0017】また、永久磁石は、磁極の外周半径 $r$ と回転子鉄心の中心からの距離 $b$ との比 $r/b$ が1.2から1.4までの位置に設けられているのが望ましい(請求項4)。

【0018】回転子に作用する電磁力の波形を高調波成分が含まれていない正弦波波形に近似するには、鉄心間空隙に形成される磁束密度分布が正弦波波形となるように永久磁石の位置を設定すればよい。この場合、回転子中心からの永久磁石の位置が近すぎる場合( $r/b$ が大きい場合)は、一つの永久磁石から発生する磁束は、隣り合う別の永久磁石の影響を大きく受けるため、永久磁石隣接部において鉄心間空隙の磁束密度が大きくなる。このため、鉄心間空隙における磁束密度分布は正弦波波形から大きくずれる結果となる。

【0019】一方、永久磁石の位置が回転子中心から遠い場合( $r/b$ が小さい場合)は、隣り合う永久磁石同

士が離れ過ぎるため、永久磁石付近での磁束密度は小さくなり過ぎる。このため、鉄心間空隙における磁束密度分布は正弦波波形から大きくずれる結果となる。

【0020】従って、鉄心間空隙の磁束密度を正弦波波形に近似させて、電磁力の高調波成分を抑制するのに最適な比 $r/b$ は1.2~1.4となることが分ったので、このような構成を採用することにより、回転電機の騒音を一層低減することができる。

【0021】また、永久磁石間に、これら間に磁束が通じることを阻止する補助永久磁石を設けるようにしてもよい（請求項5）。このような構成によれば、回転子鉄心の永久磁石間に磁束が通じることは補助永久磁石により阻止することができるので、永久磁石から発生する磁束は無駄なく回転子を回す電磁力として作用させることができ、トルクを高めることができる。

【0022】また、永久磁石は、長尺方向が磁極中心の接線方向に対して2~4度傾斜するようにしてもよい

（請求項6）。このような構成によれば、 $n$ 次高調波成分の偶数倍成分を低減することができるので、奇数倍成分が増加するにしても、エネルギー的には小さいことから、回転電機の騒音を効果的に低減することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】（第1の実施例）以下、本発明の第1の実施例を図1乃至図6を参照して説明する。図2は回転電機を概略的に示している。この図2において、回転軸11に装着された回転子12は固定子13（固定子巻線は省略）の内周に回転可能に配置されている。この回転子12は、回転子鉄心14の各磁極の形成部位に板状の永久磁石15を挿入して構成されており、各永久磁石15は隣同士でS極とN極とが交互となるように回転子鉄心14の半径方向に着磁されている。この場合、回転子鉄心14の外周と固定子鉄心16の内周との間には鉄心間空隙が形成されている。

【0024】図1は上記回転子鉄心14を示している。この図1において、回転子鉄心14は、磁極の外周半径 $r$ と、その外周半径 $r$ の中心と回転子12の中心とのずれ量 $a$ との比 $r/a$ が次式を満足するように外周面が湾曲形成されている。

$$【0025】 r/a = -0.0097n^3 + 0.426n^2 - 6.278n + 36$$

但し、 $n$ は回転子鉄心14と固定子鉄心16との間の空隙で発生する電磁力のうち低減目標とする $n$ 次高調波成分である。この場合、比 $r/a$ の許容最大ずれの比率は1.0%以内、 $n$ は $2 \leq n \leq 16$ の偶数としている。

【0026】さて、上述したような形状に回転子鉄心14を形成した理由を説明する。発明が解決しようとする

課題で説明したように鉄心間空隙の磁束密度分布が正弦波波形となるように回転子の磁極を湾曲形状に形成しただけでは騒音を低減することはできないことから、磁極の外周半径 $r$ と、その外周半径 $r$ の中心と回転子12の中心とのずれ量 $a$ との比 $r/a$ をパラメータとして騒音が低減する形状を見出だすため、モデルを作り検証すると共に、磁束解析から電磁力を計算し、電磁力の発生成分の周波数分析を行い、電磁力の $n$ 次高調波成分を低減させることを検討した。電磁力の計算は、図3に示す有限要素法による磁束解析から求めるもので、電磁力は、鉄心間空隙における固定子13側と回転子12側に起因する高調波磁束の相互作用により発生するものである。

【0027】ここで、電磁力は、高調波磁束からマックスウェルの応力により次式のようにして求めることができる。

【0028】

【数1】

$$F_n = \frac{1}{2\mu_0} \left( B_n^2 - \frac{|B|^2}{2} \right) = \frac{1}{2\mu_0} \left( \frac{B_n^2}{2} - \frac{B_t^2}{2} \right)$$

ここで、

$F_n$ : 垂直方向の電磁力 ( $N/m^2$ )

$\mu_0$ : 真空透磁率

$B_n$ : 垂直方向磁束密度 (T)

$B$ : 磁束密度 (T)

$B_t$ : 接線方向磁束密度 (T)

【0029】従って、有限要素法による磁束密度分布から直接電磁力を求めることができるので、電磁力についても磁束密度の場合と同様に、空間成分と回転子12を回転させたときの時間成分を計算し、それぞれフーリエ解析により周波数分析を行う。

【0030】図4はこのようにして求めた電磁力の計算結果である。この図4から、従来と比較して、8次高調波成分が大きく低減していることが分る。これらの電磁力成分に基づいてマックスウェルの応力の振動の計算を行う。

【0031】一方、構造系の固有振動数は、簡易式による固定子鉄心16の固有振動数を計算する。この計算式は、円環の固有振動数を基本として、ティース及び巻線を付加質量として扱ったものであり、今日では、設計段階で一般に用いられているものである。

【0032】

【数2】

$$f_{n=0} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{\rho R_c \Delta}}$$

$$\Delta = 1 + \frac{G_z + G_w + G_b}{G_j}$$

$R_c$  : 中立軸の半径 ( $R_o - R_s$ ) ,

$\rho$  : 固定子鉄心材料の密度,  $\Delta$  : 変位に対する質量付加係数,

$G_z$  : ティースの全質量,  $G_w$  : 巻線の質量,  $G_b$  : 絶縁物の質量

$G_j$  : 固定子鉄心のヨークの質量

【0033】従って、構造系の固定子鉄心16の固有振動数が計算できれば、共振するなどの電磁力の $n$ 次高調波成分を低減すれば効果的であるかが予測できる。

【0034】図5は実験によって、磁極の外周半径 $r$ と、その外周半径 $r$ の中心と回転子12の中心とのずれ量 $a$ との比 $r/a$ をパラメータとして変え、各 $n$ 次高調波成分が最大限に低減する結果を示している。この図5から、8次高調波成分が最も低減するのは、 $r/a = 7.5$ である。また、4次高調波成分は $r/a = 17.0$ で最も低減し、2次高調波成分は $r/a = 25.0$ で最も低減する。

【0035】以上の関係をまとめた結果を検討して次式を得た。

$$r/a = -0.0097n^3 + 0.426n^2 - 6.278n + 36$$

この関係は、例えば $n=8$ の場合に8次高調波成分のみが低減するのではなく、その整数倍成分である16, 32, ……高調波成分も数%であるが低減される傾向にあることを示している。

【0036】図6は8次高調波成分を低減するために $r/a = 7.5$ でもって構成した図1に示す回転子12をインバータ運転の運転周波数 $f = 0 \sim 240 \text{ Hz}$ を5分間スイープ運転させ、騒音レベルのオーバーオール値を記録したものである。この図6から、従来問題となっていた運転周波数 $f = 180 \text{ Hz}$ 近傍の騒音ピークが現れているものの、従来に比較して効果的に低減されているのが分る。

【0037】また、上記数1において $r/a$ の許容最大ずれの比率を $\pm 1.0\%$ 以内に設定したのは、図5に示す $r/a$ と $n$ 次数の関係に基づくものであり、 $\pm 1.0\%$ 以内のときに騒音レベルが最小となるが、それ以上となると騒音レベルが増大するからである。

【0038】また、上記数1において $n$ 次高調波成分を、 $2 \leq n \leq 16$ の偶数であると設定したのは、騒音に影響する電磁力の周波数成分の現象から分ることである

が、周波数分析結果から、 $n=2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16$ 高調波成分が主に発生しているからである(図13参照)。また、騒音で耳障りとされていたのは数百Hz から数千Hz であり、 $n$ 次高調波成分は、 $2 \leq n \leq 16$ の整数がこの範囲内となるからである。このことから、騒音を低減するには、前記次数を対象とした。

【0039】このような実施例によれば、回転子鉄心14の磁極の形状を、所定の $n$ 次電磁力成分と構造系固有振動数との共振状態での振動応答が小さくなるように工夫したので、鉄心間空隙の磁束密度分布を単に正弦波波形に近似させただけの従来例のものと違って、簡単な構造で $n$ 次高調波成分の磁気騒音を低減して、回転電機全体の騒音を効果的に低減することができる。

【0040】(第2の実施例)次に本発明の第2の実施例を図7を参照して説明する。この第2の実施例は、回転子鉄心14に設けられている永久磁石15の位置を規定したことに特徴を有する。即ち、回転子鉄心14の永久磁石15の位置は、回転子12の中心からの距離 $b$ と磁極の外周半径 $r$ との比 $r/b$ が1.2~1.4となるように設定されている。

【0041】さて、回転子12に発生する電磁力を高調波成分が含まれていない正弦波波形に近似させるには、鉄心間空隙に形成される磁束密度分布が正弦波波形となればよい。これを達成しようとした場合、永久磁石15の位置が重要となる。

【0042】ここで、回転子12の中心からの永久磁石15の位置が近すぎる場合( $r/b$ が大きい場合)、一つの永久磁石15から発生する磁束は、隣り合う別の永久磁石15の影響を大きく受けるため、永久磁石15の隣接部において鉄心間空隙の磁束密度が大きくなる。このため、鉄心間空隙における磁束密度分布は正弦波波形から大きくずれる結果となる。

【0043】一方、永久磁石15の位置が回転子12の中心から遠い場合( $r/b$ が小さい場合)は、隣り合う

永久磁石15同士が離れ過ぎるため、永久磁石15付近での磁束密度は小さくなり過ぎる。このため、鉄心間空隙における磁束密度分布は正弦波波形から大きくずれる結果となる。

【0044】以上の結果から、鉄心間空隙の磁束密度を正弦波波形に近似させ、電磁力の高調波成分を抑制するのに最適な比 $r/b$ は1.2~1.4であることが判明した。但し、本実施例では、第1の実施例で説明した数1を満足する場合のみ騒音を効果的に低減することができる。

【0045】この第2の実施例によれば、回転子鉄心14に設けられた永久磁石15の位置を規定することにより、鉄心間空隙における磁束密度分布を正弦波波形に近似させるようにしたので、トルク脈動、磁気振動及び磁気騒音を効果的に低減して、全体の騒音を一層低減することができる。

【0046】（第3の実施例）次に本発明の第3の実施例を図8を参照して説明する。この第3の実施例は、回転子からの磁束漏れを低減したことに特徴を有する。

【0047】即ち、回転子を示す図8において、回転子鉄心14において永久磁石15間（磁極間）には補助永久磁石17が挿入されている。この補助永久磁石17は、当該補助永久磁石17を挟む永久磁石15が形成する磁界を打消すように設けられている。このように補助永久磁石17を配置することにより、回転子鉄心14の内部を通じて隣合う永久磁石15間に磁束が通じてしまうことを防ぐことができる。

【0048】この第3の実施例によれば、回転子鉄心14の内部を通じて隣合う永久磁石15間に磁束が通じてしまうことが防止できるので、永久磁石15から発生する磁束は無駄なく回転子12を回転させる電磁力として作用することになり、回転トルクを高めることができる。

【0049】また、回転子鉄心14に補助永久磁石17を取付けることで、さらに鉄心間空隙における磁束密度分布を高調波成分を含まない正弦波波形に近似させることも可能となり、一層の騒音低減が実現できる。

【0050】（第4の実施例）次に本発明の第4の実施例を図9を参照して説明する。この第4の実施例は、回転子の永久磁石の配置を工夫した点に特徴を有する。即ち、回転子を示す図9において、板状の永久磁石15の長尺方向角度 $\theta$ を回転子鉄心16の磁極中心の接線方向に対して $\theta=2\sim4$ 度に傾斜させて設定している。このように永久磁石15を傾斜させて配置することにより、電磁力の $n$ 次高調波成分のうち3, 5, 7……の奇数倍の高調波成分が増加する一方で、その分だけ、2, 4, 6, 8……の偶数倍の高調波成分が低減させることができることが分っている。

【0051】従って、偶数倍の電磁力成分を低減するこ

とができるので、構造系の固有振動数との共振現象を回避して、騒音を低減することができる。この場合、奇数倍の高調波成分が増加するにしても、エネルギー的には小さいことから騒音を効果的に低減することができる。

【0052】この第4の実施例によれば、長尺状の永久磁石15の配置方向を工夫することにより、電磁力の偶数倍の高調波成分を低減するようにしたので、 $n$ 次高調波成分による騒音を低減して、全体の騒音低減を実現することができる。

【0053】本発明は、上記実施例に限定されるものではなく、次のように変形または拡張できる。騒音低減となる目標の電磁力の $n$ 次高調波成分としては、8次に限定されることなく、2次、4次、10次、12次を騒音低減となる目標の電磁力の $n$ 次高調波成分として回転子鉄心の磁極形状を求めるようにしてもよい。アウタロータ形の回転電機に適用するようにしてもよい。

【0054】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の回転電機の磁石付き回転子によれば、回転子鉄心の外周を、磁極の外周半径 $r$ とこの外周半径 $r$ の中心からのズレ量 $a$ との比 $r/a$ が所定式で規定された湾曲形状に形成するようにしたので、電磁力の $n$ 次高調波成分を低減して、簡単な構造で電磁力の $n$ 次高調波成分による磁気騒音を低減できるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例における回転子を示す図

【図2】回転電機を概略的に示す図

【図3】有限要素法による磁束解析を示す図

【図4】電磁力の周波数分析を示す図

【図5】 $n$ 次高調波成分が最大限に低減する場合の比 $r/a$ を示す図

【図6】騒音のオーバーオール値を示す図

【図7】本発明の第2の実施例を示す図1相当図

【図8】本発明の第3の実施例を示す図1相当図

【図9】本発明の第4の実施例を示す図1相当図

【図10】従来例を示す図2相当図

【図11】その他の従来例を示す図2相当図

【図12】図6相当図

【図13】騒音の周波数分析結果を示す図

【図14】電磁力の $n$ 次高調波成分と構造系の固有振動数との関係を示す図

【図15】騒音のオーバーオール値を示す図

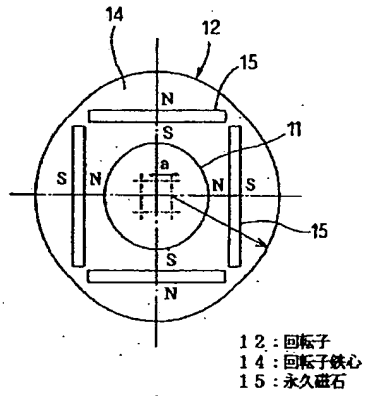
【図16】騒音の周波数分析結果を示す図

【図17】電磁力の $n$ 次高調波成分と構造系の固有振動数との関係を示す図

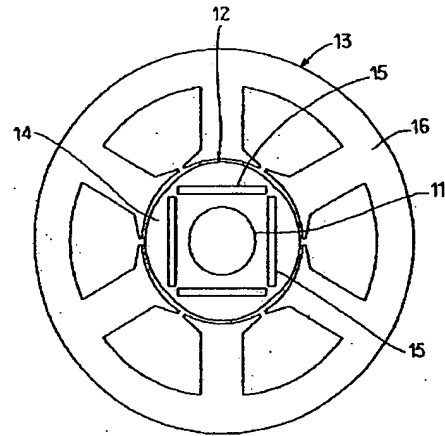
【符号の説明】

12は回転子、13は固定子、14は回転子鉄心、15は永久磁石、16は固定子鉄心、17は補助永久磁石である。

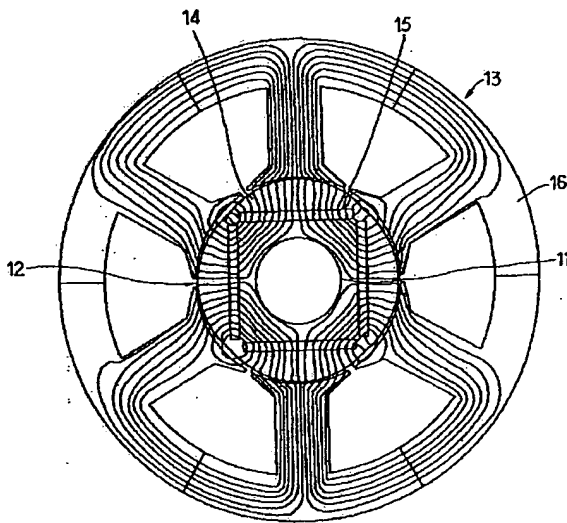
【図1】



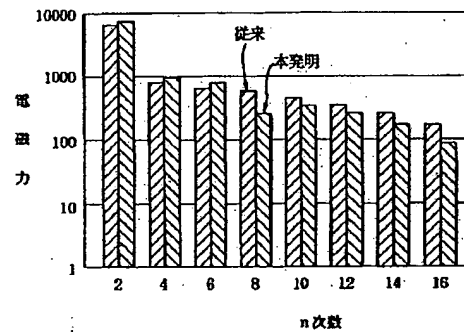
【図2】



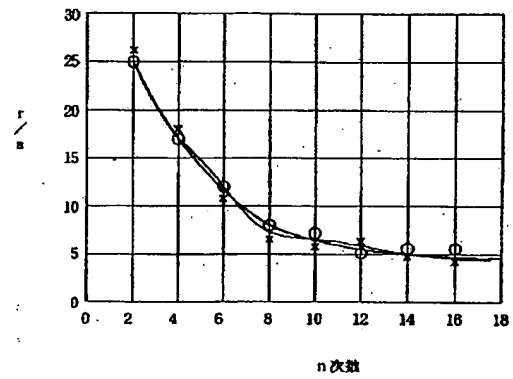
【図3】



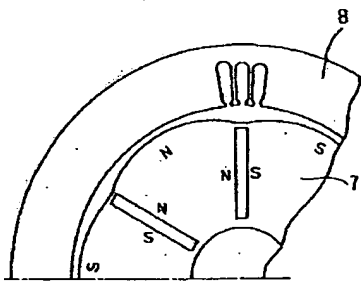
【図4】



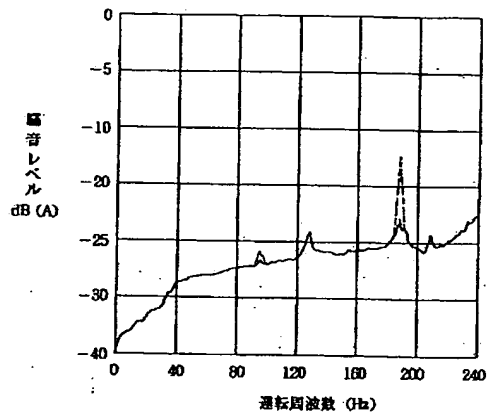
【図5】



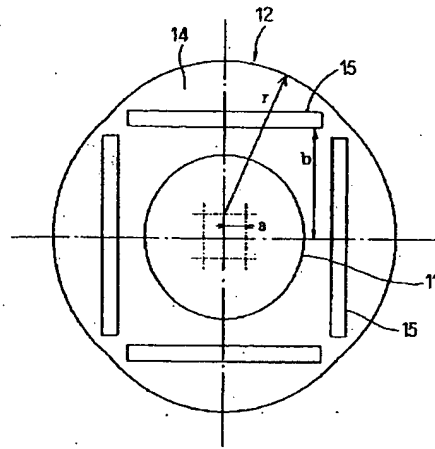
【図11】



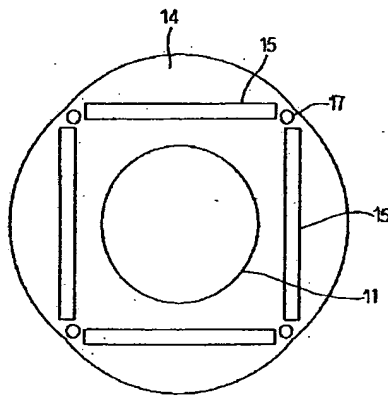
【図6】



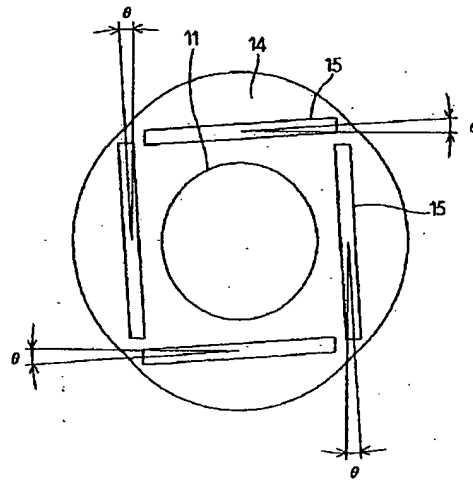
【図7】



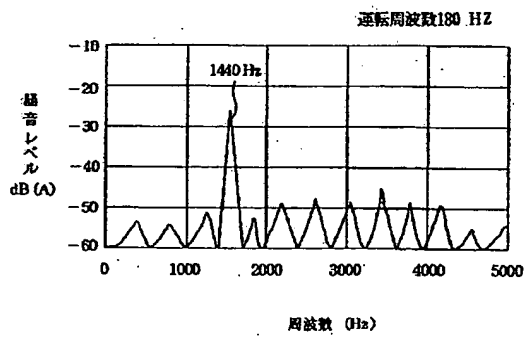
【図8】



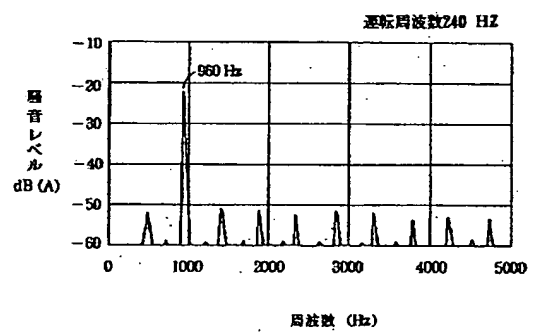
【図9】



【図13】

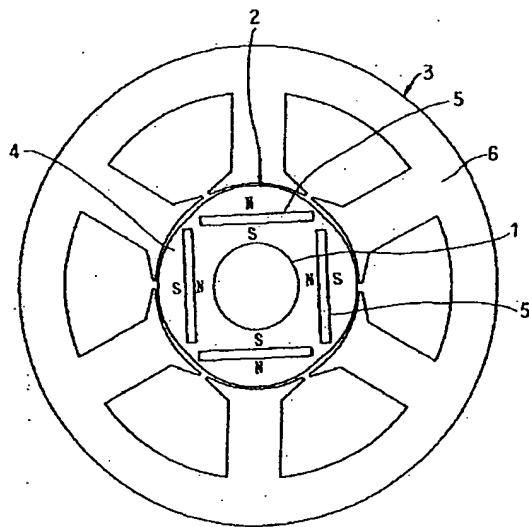


【図16】

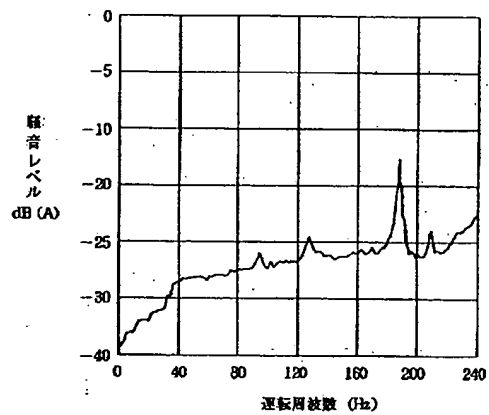




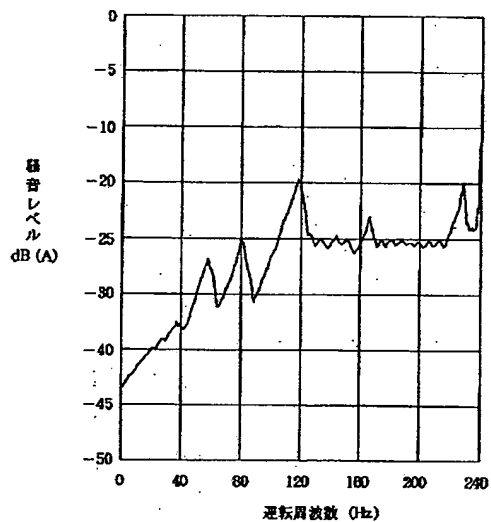
【図10】



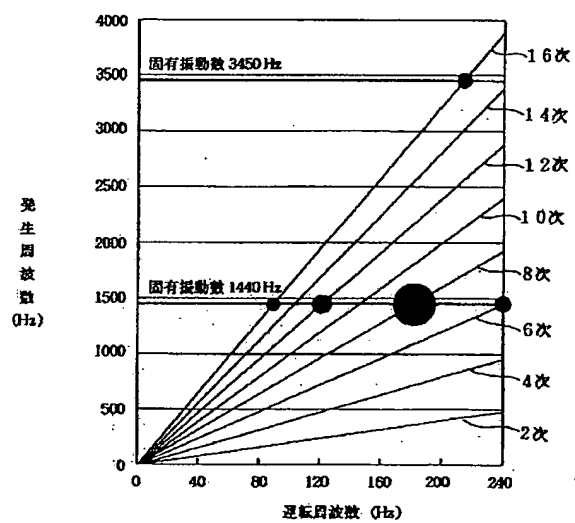
【図12】



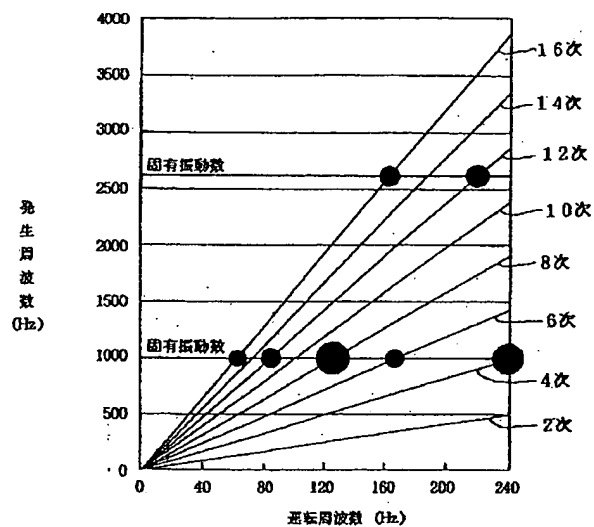
【図15】



【図14】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 津田 純一

三重県三重郡朝日町大字縄生2121番地 株  
式会社東芝三重工場内

(72)発明者 望月 資康

三重県三重郡朝日町大字縄生2121番地 株  
式会社東芝三重工場内

(72)発明者 西沢 隆志

三重県三重郡朝日町大字縄生2121番地 株  
式会社東芝三重工場内

Fターム(参考) 5H622 AA03 CA02 CA05 CA13 CB03  
CB05 PP03 PP10 PP16 PP19  
QB02 QB05